体外产气法和尼龙袋法评定苎麻的饲用价值

贺　瑶　王洪荣* 徐进昊　赵　睿

（扬州大学动物科学与技术学院，扬州 225009）

摘　要：本试验通过体外产气法和尼龙袋法对苎麻叶片、苎麻全株以及苎麻去纤维全株的饲用价值进行评定。采用体外产气法测定苎麻叶片、苎麻全株以及苎麻去纤维全株的 72 h 动态产气量，并求得产气参数；用上述 3 种原料进行尼龙袋试验，测定干物质（DM）、粗蛋白质（CP）、中性洗涤纤维（NDF）及酸性洗涤纤维（ADF）的降解率，求得降解参数。结果表明：1）产气试验中，苎麻全株 72 h 产气量及理论最大产气量均最高，显著高于最低的苎麻去纤维全株(P＜0.05)，苎麻叶片居中，苎麻叶片与其他二者差异不显著(P＞0.05)。2）尼龙袋试验中，DM、CP、NDF 及 ADF 的 72 h 降解率均为苎麻叶片＞苎麻全株＞苎麻去纤维全株；DM、NDF、ADF 有效降解率也呈现相同的变化规律；然而 CP 有效降解率则表现为苎麻全株＞苎麻叶片＞苎麻去纤维全株。从体外产气量和有效降解率来看，苎麻叶片和苎麻全株的饲用价值要优于苎麻去纤维全株。

关键词：苎麻；饲用价值；体外产气法；尼龙袋法

中图分类号：S816.5

苎麻[*Boehmeria nivea* (L.) Gaudich]属于荨麻科(Urticaceae)苎麻属(*Boehmeria*)，是多年生宿根型草本植物[1]。苎麻作为一种传统纤维作物，广泛种植于我国湖南、湖北、四川、江西等地[2]。近年来，苎麻逐渐成为一种新型高蛋白质牧草资源而备受关注[3-6]。据报道，苎麻营养价值丰富，可与苜蓿媲美，且苎麻产量高，生物适应性好，可在雨热同季的南方很好地生长[7-8]，但却缺少苎麻在动物生产中应用情况的研究。

体外产气法和尼龙袋法是 2 种体外评定饲料饲用价值最常用的方法，体外产气法是由德国霍恩海姆大学动物营养研究所 Menke 等研究者在 1979 建立的，是目前国际上广泛用来评价反刍动物饲草饲料营养价值的方法之一，通过产气量的大小可以比较准确地估测饲料的瘤

收稿日期：2016-08-02
基金项目：公益性行业（农业）科研专项（201303144）；苏北科技发展计划——科技富民强县项目（BN2014004）；江苏省高校优势学科(PAPD)
作者简介：贺　瑶（19-），女，内蒙古巴彦淖尔人，硕士研究生，从事反刍动物营养研究。E-mail: 18047612538@163.com
*通信作者：王洪荣，教授，博士生导师，E-mail: hrwang@yzu.edu.cn

胃有机物质消化率。尼龙袋法将饲料与动物很好地结合起来，饲料在瘤胃内的利用情况可以清晰地呈现，实时测定饲料瘤胃内降解率，它是一种评定饲料营养物质在瘤胃内降解速度和程度的快速高效的方法[9-10]。为了深入探究苎麻的饲用价值，本实验室采用体外产气法与尼龙袋法对苎麻的饲用价值进行评定，为苎麻作为饲草资源的利用提供理论依据。

1　材料与方法

1.1　试验材料

苎麻样品于 2014 年 6 月份采自湖南省麻类研究所试验基地，苎麻品种为中苎 1 号。中苎 1 号是从圆叶青苎麻×芦竹青苎麻的杂交后代中选育而成的优质、高产、多抗品种。苎麻采集时为苎麻的头麻期，生长地区处于北纬 28° 18′东经 112° 51′，高度为 80~100 cm，分别单独采集苎麻叶片（手动采摘叶片）、苎麻全株（用镰刀收割）以及苎麻去纤维全株（用镰刀收割苎麻全株后，用 4BM-260 型苎麻剥麻机脱去麻纤维）。采集后，自然干燥，粉碎过 1 mm 筛，室温保存于自封袋中备用。产气试验装置为 ANKOM RFS 产气测量装置（北京安科博瑞科技有限公司）；尼龙袋试验采用 8 cm×12 cm 的尼龙袋（孔径 50 μm）。

1.2　试验方法

1.2.1　营养成分含量测定

苎麻叶片、苎麻全株、苎麻去纤维全株的干物质(DM)、粗蛋白质(CP)、粗灰分（ash）、粗脂肪（EE）、钙（Ca）含量参照张丽英[11]的方法测定，中性洗涤纤维(NDF)、酸性洗涤纤维(ADF)含量的测定参照 Van Soest[12]的方法，每个样品 2 个重复；尼龙袋消化后样品测定其 DM、CP、NDF 和 ADF 含量，方法同上。

1.2.2　体外产气试验

采用 ANKOM RFS 产气测量装置（北京安科博瑞科技有限公司），先将模块中电池全部充电 16 h，装好模块电池，计算机连接 BASE 发射器，运行 GPM 软件，检测模块与计算机的交互，确认 GPM 软件中识别到所有模块。

检测放气阀正常，设置响应时间为 1 s，记录间隔时间为 1 min。点击记录按钮开始记录数据，连接阀门清理工具，在模块中冲入 41~69 kPa 压力（注意：不要超过 69 kPa），6~10 min 后观察数据。确认压力无明显降低，微小变化是正常的，点击开启阀门按钮，确认压力降低了，确认压力为 0 kPa 后点击开启阀门选框关闭模块放气阀。

分别将0.500 0 g苎麻叶片、苎麻全株以及苎麻去纤维全株装入250 mL人工瘤胃培养瓶，每组5个重复，同时做3个空白对照（只有培养液，没有底物）。将全部培养瓶放入电热恒温振荡水浴箱中预热，并将预先配制好的微生物培养液至于39 ℃电热水浴恒温器中预热。微生物培养液的配制参照Menke等[13]的方法：将8.75 g $NaHCO_3$、1.00 g NH_4HCO_3、1.43 g Na_2HPO_4、1.55 g KH_2PO_4、0.15 g $MgSO_4·7H_2O$、0.52 g Na_2S、0.015 g $MnCl_2·4H_2O$、0.002 g $CoCl_2·6H_2O$、0.012 g $FeCl_3·6H_2O$、0.017 g $CaCl_2·2H_2O$和1.25 mg刃天青全部溶于1 L蒸馏水中，通CO_2直至pH 6.8。

瘤胃液供体动物为3只安装有永久性瘤胃瘘管的杜泊羊与湖羊杂交F1代，于晨饲前采集150 mL瘤胃液经4层纱布过滤，混合装入保温瓶中，迅速带回实验室通CO_2。

打开ANKOM RFS系统软件页面，将BASE调制器和USB线与电脑连接，基准0模块连接，用注射器吸取微生物培养液50 mL置于培养瓶中，并接种25 mL瘤胃液，在安装模块前直接通入CO_2，大约5 s；快速连接安装模块，设置响应时间为1 s，点击开启阀门按钮，开启模块放气阀，接通进气口，将CO_2通入模块瓶15 s以上；当模块中的压力为0 kPa，关闭放气阀（注意：压力不要超过69 kPa）。

运行GPM软件，设置记录间隔时间，设置压力单位，选择自动保存文件的路径，决定文件保存的位置。开始记录，由电脑自动记录并保存发酵产气72 h产气压力。

1.2.3 尼龙袋试验

试验操作程序参考王加启[14]的方法：精确称取粉碎样品3 g，小心装入尼龙袋 (8 cm×12 cm,孔径 50 μm)中，系紧袋口尼龙绳,然后将系好的尼龙袋拴在软塑料棒的一端,另一端系绳并固定在瘤胃瘘管上。尼龙袋在瘤胃放置时间分别为6、12、24、36、48、72 h。每个样品、每个时间点4个重复。将每个时间点取出的尼龙袋在水龙头下轻轻用手抚动冲洗，直至水清为止。冲洗好后，将尼龙袋放入65 ℃烘箱内，直至恒重。将同一时间点相同样品的袋内残渣混合均匀后作为待测样品。

1. 3 参数模拟及统计分析

产气压力与产气体积换算[在39 ℃时，将产气压力(kPa)换算为体积（mL）]：

$$V_x=V_j\times P_{kPa}\times 0.145\,037\,7\times 0.068\,004\,08。$$

式中：V_x为39 ℃时产气体积（mL）；V_j为模块瓶内液面上部空间的体积（mL）；P_{kPa}

为 GMS 软件记录的累积压力（kPa）。

根据待测饲料中 DM 含量，将产气数据转换为单位质量 DM 产气量,采用以下方程进行非线性拟合，得出产气参数。

$$GP_t=A/[1+(C/t)^B]。$$

式中：GP_t 为发酵在 t 时间点（h）产气量(mL/g)；A 为理论最大产气量(mL)；B 为曲线拐点参数；C 为达 1/2 理论最大产气量的时间(h)。

待测饲料营养物质在瘤胃中不同时间点的降解率计算公式如下：

$$A=100\times(B-C)/B。$$

式中：A 为待测饲料营养物质的瘤胃降解率(%)；B 为样品中待测饲料营养物质的含量（%）；C 为残渣中待测饲料营养物质的含量（%）。

待测饲料各营养物质的降解参数及有效降解率计算参照 Ørskov 等[15]的方法，计算公式如下：

$$Deg(t)=a+b\times(1-e^{-ct})；$$

$$P=a+(b\times c)/(c+k)。$$

式中：$Deg(t)$为 t 时间点（h）营养物质降解率(%)；a 为快速降解部分含量(%)；b 为慢速降解部分含量(%)；t 为待测饲料在瘤胃中滞留时间(h)；c 为慢速降解部分的降解速率(%/h)；P 为待测饲料中营养物质有效降解率(%)；k 为待测饲料的瘤胃流通速率（%/h），k=0.036 4+0.614X。

1.4 数据处理与分析

用 Excel 2010 整理数据，SPSS 19.0 的 one-way ANOVA 程序进行单因素方差分析，P＜0.05 为差异显著，P＞0.05 为差异不显著。

2 结果与分析

2.1 苎麻叶片、苎麻全株、苎麻去纤维全株营养成分含量

表 1 所列为苎麻叶片、苎麻全株、以及苎麻去纤维全株的营养成分含量。从表中可以看出，苎麻全株 DM 含量最高，苎麻叶片次之并与苎麻去纤维全株接近。苎麻叶片 CP、EE、ash、Ca 含量均大于苎麻全株和苎麻去纤维全株，NDF、ADF 含量均小于苎麻全株和苎麻去纤维全株。苎麻全株与苎麻去纤维全株因收获高度相近，各营养成分含量差异均较小。

表 1　苎麻叶片、苎麻全株、苎麻去纤维全株的营养成分含量(干物质基础)

Table 1　Nutrient composition contents of ramie leaf, ramie whole plant and ramie whole plant without fiber （DM basis）(*n*=2)　%

项目 Items	苎麻叶片 Ramie leaf	苎麻全株 Ramie whole plant	苎麻去纤维全株 Ramie whole plant without fiber
干物质 DM	95.11±0.32	95.47±0.06	94.92±0.03
粗蛋白质 CP	20.38±0.31	13.75±0.53	15.69±0.18
粗灰分 Ash	17.05±0.10	10.27±0.19	12.37±0.17
粗脂肪 EE	6.58±0.02	3.93±0.20	3.92±0.02
中性洗涤纤维 NDF	44.65±2.18	59.75±1.30	60.78±1.35
酸性洗涤纤维 ADF	34.24±1.19	49.92±0.96	48.03±1.42
钙 Ca	5.02±0.08	2.90±0.02	3.47±0.08

2.2　苎麻叶片、苎麻全株、苎麻去纤维全株体外产气试验结果

图 1 所示为苎麻叶片、苎麻全株、苎麻去纤维全株体外发酵动态产气量。从图中可以看出，在 0~12 h 苎麻叶片、苎麻全株、苎麻去纤维全株产气量都急剧增加，苎麻去纤维全株在 12 h 后产气量的增加逐渐平缓，并且与苎麻叶片和苎麻全株的差距逐渐增大；苎麻叶片和苎麻全株在 20 h 开始产气量的增加逐渐平缓，并且在此时，苎麻叶片与苎麻全株的差距逐渐增大。

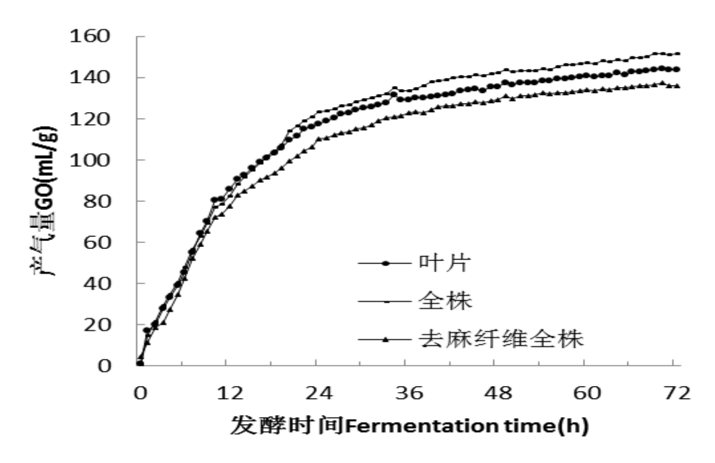


图 1　苎麻叶片、苎麻全株、苎麻去纤维全株的体外发酵动态产气量(干物质基础)

Fig.1　Dynamic GP of ramie leaf, ramie whole plant and ramie whole plant without fiber after *in vitro* fermentation （DM basis）

表 2 所示为苎麻叶片、苎麻全株、苎麻去纤维全株体外发酵产气量及产气参数。从表中可以看出，各时间点的产气量均是苎麻全株最大，苎麻叶片次之，苎麻去纤维全株最小，三

者在 2 h 时产气量差异不显著(P＞0.05)，之后的时间点出现显著差异(P＜0.05)。理论最大产气量也以苎麻全株最高（167.51 mL/g），苎麻叶片次之（153.69 mL/g），以苎麻去纤维全株最低（145.07 mL/g），苎麻全株与苎麻去纤维全株差异显著(P＜0.05)。达 1/2 理论最大产气量的时间及曲线拐点参数苎麻叶片、苎麻全株、苎麻去纤维全株之间差异不显著(P＞0.05)。

表 2　苎麻叶片、苎麻全株、苎麻去纤维全株的体外发酵产气量及产气参数（干物质基础）

Table 2　GP and GP parameters of ramie leaf, ramie whole plant and ramie whole plant without fiber after *in vitro* fermentation　（DM basis）

项目 Items	苎麻叶片 Ramie leaf	苎麻全株 Ramie whole plant	苎麻去纤维全株 Ramie whole plant without fiber	SEM	P 值 P-value
产气量 GP/(mL/g)					
2 h	19.95±1.64	23.43±1.71	18.62±0.01	1.00	0.08
4 h	33.86±1.58^{b}	37.85±0.86^{c}	27.04±0.87^{a}	2.03	＜0.01
6 h	44.74±0.69^{b}	49.26±0.83^{c}	41.46±1.73^{a}	1.48	0.02
8 h	62.89±1.94^{b}	63.68±1.62^{b}	57.08±0.90^{a}	1.41	0.04
12 h	84.05±1.17^{b}	84.11±1.68^{b}	76.30±2.61^{a}	1.75	0.04
24 h	114.88±0.43^{ab}	122.55±4.21^{a}	107.54±1.79^{a}	2.87	0.03
36 h	126.97±0.47^{b}	131.02±0.81^{b}	119.56±2.65^{a}	2.27	0.01
48 h	133.02±0.49^{ab}	139.38±3.36^{b}	126.16±1.59^{a}	2.51	0.02
72 h	141.48±0.52^{ab}	148.98±3.36^{b}	132.76±74.14^{a}	3.12	0.03
理论最大产气量 Theological maximum GP/mL	153.69±2.08^{ab}	167.51±0.11^{b}	145.07±7.48^{a}	4.37	0.03
达 1/2 理论最大产气量的时间 Time reaching 1/2 theological maximum GP/h	10.72±0.35	11.69±0.45	11.30±1.55	0.35	0.64
曲线拐点参数 Inflection point parameter of curve	1.32±0.10^{b}	1.17±0.06^{a}	1.33±0.11^{b}	0.04	0.30

同行数据肩标相同字母或无字母表示差异不显著(P＞0.05),不同字母表示差异显著(P＜0.05)。下表同。

Values in the same row with the same or no letter superscripts mean no significant difference (P＞0.05), while with different letter superscripts mean significant difference (P＜0.05). The same as below.

2.3　苎麻叶片、苎麻全株、苎麻去纤维全株尼龙袋试验结果

由表 3 可知，随着苎麻叶片、苎麻全株、苎麻去纤维全株在瘤胃内停留时间的增加，其 DM 降解率逐渐增大。苎麻叶片在 24 h 内降解很快，24 h 后降解逐渐平缓；苎麻全株 12 h 内降解缓慢，12~24 h 内降解快，24 h 后逐渐趋于平缓；苎麻去纤维全株在 12 h 内降解缓慢，12~36 h 内降解快，36 h 后降解逐渐缓慢。苎麻叶片、苎麻全株、苎麻去纤维全株 DM 降解率在各时间点出现显著差异(P＜0.05)，72 h 时 DM 降解率分别为 83.61%、74.17%、63.87%。DM 慢速降解部分含量由大到小分别为苎麻叶片、苎麻全株、苎麻去纤维全株，苎麻叶片、

苎麻全株与苎麻去纤维全株差异显著(*P*＜0.05); DM 有效降解率与 DM 慢速降解部分含量呈现相同的变化趋势，苎麻叶片、苎麻全株以及苎麻去纤维全株的 DM 有效降解率依次为 49.05%、47.16%、36.07%；苎麻叶片、苎麻去纤维全株的 DM 快速降解部分含量显著高于苎麻全株(*P*＜0.05);DM 慢速降解部分的降解速率为苎麻全株>苎麻叶片>苎麻去纤维全株，三者间差异显著(*P*＜0.05)。

表 3　苎麻叶片、苎麻全株、苎麻去纤维全株的干物质降解率及降解参数

Table 3　DM degradation rate and degradation parameters of ramie leaf, ramie whole plant and ramie whole plant without fiber after *in vitro* fermentation　　%

项目 Items	苎麻叶片 Ramie leaf	苎麻全株 Ramie whole plant	苎麻去纤维全株 Ramie whole plant without fiber	SEM	*P* 值 *P*-value
干物质降解率 DM degradation rate					
6 h	41.42±0.29^{a}	35.86±1.06^{b}	31.19±1.51^{c}	1.90	＜0.01
12 h	45.70±1.41^{a}	46.77±0.23^{a}	32.68±2.05^{b}	2.90	＜0.01
24 h	65.68±2.28^{a}	67.72±1.36^{a}	45.61±0.46^{b}	4.49	＜0.01
36 h	75.13±0.28^{a}	69.52±1.20^{b}	58.87±1.77^{c}	3.06	＜0.01
48 h	77.25±1.05^{a}	70.40±0.94^{b}	60.67±1.10^{c}	3.06	＜0.01
72 h	83.61±6.75^{a}	74.17±1.18^{ab}	63.87±1.21^{b}	3.82	0.04
快速降解部分 Rapidly degraded fraction	3.41±0.57^{a}	0.77±0.10^{b}	3.57±0.21^{a}	0.58	＜0.01
慢速降解部分 Slowly degraded fraction	76.89±3.33^{a}	71.79±1.00^{a}	59.69±0.53^{b}	3.29	＜0.01
慢速降解部分的降解速率 Degradation rate of slowly degraded fraction/(%/h)	0.078 8±0.006 4^{b}	0.098 1±0.000 1^{a}	0.064 3±0.060 0^{c}	0.01	＜0.01
有效降解率 Effective degradation rate	49.05±1.03^{a}	47.16±0.77^{a}	36.07±1.29^{b}	2.58	＜0.01

由表 4 可知，随着在瘤胃内停留时间的增加，苎麻叶片、苎麻全株、苎麻去纤维全株 CP 降解率逐渐增大，苎麻叶片 CP 降解率在 12 h 前降解缓慢很快，12~36 h 内快速降解，36 h 后降解逐渐缓慢；苎麻全株 24 h 内降解快，24 h 后降解缓慢；苎麻去纤维全株在 24 h 内降解缓慢，24~36 h 内降解快，36 h 后降解缓慢。苎麻叶片、苎麻全株、苎麻去纤维全株 CP 降解率在 6~48 h 存在差异显著(*P*＜0.05)，在 72 h 时无显著差异(*P*＞0.05)，分别为 79.91%、78.27%、74.03%。苎麻叶片的 CP 快速降解部分含量显著高于苎麻全株、苎麻去纤维全株(*P*＜0.05); 苎麻叶片、苎麻全株、苎麻去纤维全株 CP 慢速降解部分含量分别为 69.15%、77.23%、85.26%，三者间差异不显著(*P*＞0.05)；CP 慢速降解部分的降解速率以苎麻全株最大，显著高于苎麻叶片和苎麻去纤维全株(*P*＜0.05);CP 有效降解率呈现苎麻全株＞苎麻去纤维全株＞苎麻叶片，苎麻全株显著显著高于苎麻去纤维全株和苎麻叶片(*P*＜0.05)。

表 4 苎麻叶片、苎麻全株、苎麻去纤维全株的粗蛋白质降解率及降解参数

Table 4 CP degradation rate and degradation parameters of ramie leaf, ramie whole plant and ramie whole plant without fiber after *in vitro* fermentation %

项目 Items	苎麻叶片 Ramie leaf	苎麻全株 Ramie whole plant	苎麻去纤维全株 Ramie whole plant without fiber	SEM	*P* 值 *P*-value
粗蛋白质降解率 CP degradation rate					
6 h	23.45±0.37[b]	32.27±1.12[a]	33.08±1.47[a]	1.98	＜0.01
12 h	25.64±1.92[c]	50.60±0.21[a]	36.29±1.94[b]	4.60	＜0.01
24 h	51.65±3.21[b]	70.56±1.24[a]	44.95±0.46[c]	4.89	＜0.01
36 h	67.73±0.37[b]	73.71±1.17[a]	65.55±1.48[b]	1.58	0.01
48 h	70.26±1.37[b]	75.59±1.61[a]	67.57±0.91[b]	1.55	0.02
72 h	79.91±8.28	78.27±0.99	74.03±0.87	1.89	0.53
快速降解部分 Rapidly degraded fraction	5.27±0.27[a]	1.08±0.84[b]	0.00±0.00[b]	1.03	＜0.01
慢速降解部分 Slowly degraded fraction	85.26±7.67	77.23±1.84	69.15±0.13	3.28	0.09
慢速降解部分的降解速率 Degradation rate of slowly degraded fraction/(%/h)	0.037 0±0.004 9[b]	0.089 0±0.000 6[a]	0.049 7±0.002 6[b]	0.01	＜0.01
有效降解率 Effective degradation rate	35.97±1.30[b]	48.30±1.28[a]	38.50±1.14[b]	2.41	＜0.01

由表 5 可知，随着在瘤胃内停留时间的增加，苎麻叶片、苎麻全株、苎麻去纤维全株的 NDF 降解率逐渐增大。苎麻叶片 NDF 降解率呈现平缓上升趋势；苎麻全株 NDF 降解率 24 h 内降解快，24 h 后降解缓慢；苎麻去纤维全株 NDF 降解率在 12 h 内降解缓慢，12~36 h 内降解快，36 h 后降解缓慢。苎麻叶片、苎麻全株、苎麻去纤维全株 NDF 降解率在 6 h 时差异不显著($P>0.05$)，在 12~72 h 内出现显著差异($P<0.05$)，72 h 时，NDF 降解率为苎麻叶片最大（77.63%），略高于苎麻全株（66.01%），而显著高于苎麻去纤维全株（51.31%）($P<0.05$)。苎麻叶片、苎麻全株、苎麻去纤维全株的 NDF 快速降解部分含量和 NDF 慢速降解部分的降解速率均差异不显著($P>0.05$)；NDF 慢速降解部分含量为苎麻叶片＞苎麻全株＞苎麻去纤维全株，苎麻叶片显著高于苎麻去纤维全株($P<0.05$)；苎麻叶片、苎麻全株、苎麻去纤维全株 NDF 有效降解率从大到小依次为苎麻叶片、苎麻全株、苎麻去纤维全株，但差异不显著($P>0.05$)。

表 5 苎麻叶片、苎麻全株、苎麻去纤维全株的中性洗涤纤维降解率及降解参数

Table 5 NDF degradation rate and degradation parameters of ramie leaf, ramie whole plant and ramie whole plant without fiber after *in vitro* fermentation %

项目 Items	苎麻叶片 Ramie leaf	苎麻全株 Ramie whole plant	苎麻去纤维全株 Ramie whole plant without fiber	SEM	*P* 值 *P*-value

中性洗涤纤维降解率 NDF degradation rate					
6 h	18.98±0.40	18.90±1.34	18.69±1.79	0.42	0.97
12 h	30.69±1.79^{a}	30.37±0.30^{a}	18.74±2.47^{b}	2.55	0.01
24 h	52.75±3.14^{a}	56.79±1.81^{a}	34.22±0.55^{b}	4.45	＜0.01
36 h	64.09±0.41^{a}	59.83±1.43^{a}	45.23±2.35^{b}	3.65	＜0.01
48 h	68.58±1.45^{a}	60.03±1.27^{b}	47.92±1.46^{c}	3.82	＜0.01
72 h	77.63±9.22^{a}	66.01±1.55^{ab}	51.31±1.64^{b}	5.12	0.04
快速降解部分 Rapidly degraded fraction	0.41±0.58	0.00±0.00	1.57±0.54	0.33	0.08
慢速降解部分 Slowly degraded fraction	81.05±8.05^{a}	66.77±1.41^{ab}	52.87±0.45^{b}	5.36	0.02
慢速降解部分的降解速率 Degradation rate of slowly degraded fraction/(%/h)	0.042 0±0.006 0	0.060 0±0.000 8	0.026 3±0.020 9	0.01	0.16
有效降解率 Effective degradation rate	35.72±1.23	35.24±0.98	17.66±8.93	4.11	0.07

由表 6 可知，随着饲料在瘤胃内停留时间的增加，苎麻叶片、苎麻全株、苎麻去纤维全株的 ADF 降解率逐渐增大。苎麻叶片在 72 h 内呈现平稳快速降解；苎麻全株 24 h 内降解快，24 h 后降解缓慢；苎麻去纤维全株在 12 h 内降解缓慢，12~36 h 内降解快，36 h 后降解缓慢。苎麻叶片、苎麻全株、苎麻去纤维全株的 ADF 降解率在 6 h 时差异不显著(P＞0.05)，在 12~72 h 出现显著差异(P＜0.05)，在 72 h 时 ADF 降解率最高的是苎麻叶片（79.16%），苎麻全株居中（69.14%），苎麻去纤维全株最低（53.23%）。苎麻叶片、苎麻全株、苎麻去纤维全株的 ADF 快速降解部分含量和 ADF 慢速降解部分的降解速率差异不显著(P＞0.05)；ADF 慢速降解部分含量以苎麻叶片最大（73.57%），苎麻全株居中（67.23%），苎麻去纤维全株最小（51.59%），苎麻叶片、苎麻全株与苎麻去纤维全株差异显著(P＜0.05)；苎麻叶片、苎麻全株以及苎麻去纤维全株的 ADF 有效降解率依次为 41.97%、40.25%、28.75%，苎麻叶片、苎麻全株与苎麻去纤维全株差异显著(P＜0.05)。

表 6 苎麻叶片、苎麻全株、苎麻去纤维全株的酸性洗涤纤维降解率及降解参数

Table 6 ADF degradation rate and degradation parameters of ramie leaf, ramie whole plant and ramie whole plant without fiber after *in vitro* fermentation %

项目 Items	苎麻叶片 Ramie leaf	苎麻全株 Ramie whole plant	苎麻去纤维全株 Ramie whole plant without fiber	SEM	P 值 P-value
酸性洗涤纤维降解率 ADF degradation rate					
6 h	30.64±0.34	28.61±1.18	21.74±5.94	2.03	0.16
12 h	42.16±1.50^{a}	36.78±0.27^{b}	26.10±2.25^{c}	3.03	＜0.01
24 h	56.27±2.90^{a}	60.83±1.64^{a}	38.55±0.52^{b}	4.34	＜0.01
36 h	65.20±0.40^{a}	62.78±1.33^{a}	47.69±2.24^{b}	3.50	＜0.01
48 h	71.66±1.31^{a}	64.00±1.14^{b}	50.45±1.38^{c}	3.94	＜0.01
72 h	79.16±8.59^{a}	69.14±1.41^{ab}	53.23±1.57^{b}	5.04	0.03
快速降解部分 Rapidly degraded fraction	3.17±1.07	0.66±0.11	1.90±1.49	0.57	0.21

慢速降解部分 Slowly degraded fraction	73.57±5.29[a]	67.23±1.23[a]	51.59±1.15[b]	4.25	0.01
慢速降解部分的降解速率 Degradation rate of slowly degraded fraction/(%/h)	0.060 6±0.009 1	0.076 9±0.000 4	0.058 6±0.006 8	0.01	0.12
有效降解率 Effective degradation rate	41.97±1.08[a]	40.25±0.92[a]	28.75±2.38[b]	2.67	＜0.01

3 讨 论

3.1 苎麻叶片、苎麻全株、苎麻去纤维全株的产气量

体外产气法是一种国内外普遍用于评定饲草资源饲用价值的方法，通过产气量可以较真实地模拟牧草在瘤胃内有机物质的消化[16]。Menke 等研究者早在 1979 年就提出体外产气法，将饲料样品用人工瘤胃液培养 24 h 后其产气量与体内消化率测定值之间呈正相关关系。本研究中，72 h 产气量和理论最大产气量以苎麻全株最大，显著高于苎麻去纤维全株，苎麻叶片居中，苎麻叶片的营养价值最高，但产气量却低于苎麻全株，而对于苎麻去纤维全株来说，脱去苎麻茎秆部不利于反刍动物消化利用的纤维后，预想是优于苎麻全株的利用效果，结果却是去纤维后产气量显著低于苎麻全株。

3.2 苎麻叶片、苎麻全株、苎麻去纤维全株的降解率

瘤胃 DM 降解率是影响干物质采食量(DMI)的一个主要因素，且 DM 降解率与 DMI 存在正相关关系。DM 降解率高，则有利于生产性能的发挥。不同饲料原料的蛋白质在反刍动物瘤胃中的有效降解率各不相同。饲料蛋白质在瘤胃中的降解主要取决于其发酵的难易程度及在瘤胃内的滞留时间。同一种饲料在瘤胃中停留时间长，则降解率较高，反之，则降解率较低。牧草的蛋白质多以含氮化合物为主，存在于细胞内容物中，蛋白质的降解速度取决于植物细胞壁的纤维素结构，通常随着植物的成熟、老化，其木质素含量增加，进而影响蛋白质的释放和分解。苎麻叶片、苎麻全株、苎麻去纤维全株 72 h DM 降解率分别为 83.61%、74.17%、63.87%，苎麻叶片及苎麻全株 72 h DM 降解率高于大多数苜蓿、多年生黑麦草、燕麦、玉米青贮、玉米秸秆、羊草，苎麻去纤维全株 72 h DM 降解率低于苜蓿、多年生黑麦草，与燕麦草、玉米青贮和玉米秸秆相近，高于羊草[17-24]。苎麻叶片、苎麻全株、苎麻去纤维全株 DM 有效降解率分别为 49.05%、47.16%、36.07%，苎麻叶片与苎麻全株 DM 有效降解率高于玉米青贮、玉米秸秆、羊草，但低于苜蓿，与玉米青贮、玉米干草及羊草相近[17-25]。苎麻叶片、苎麻全株、苎麻去纤维全株在 72 h CP 降解率相近，苎麻叶片略高于苎麻全株略高于苎麻去纤维全株，苎麻叶片、苎麻全株、苎麻去纤维全株 72 h CP 降解率与苜蓿接近，高于其他牧草，苎麻叶片、苎麻全株、苎麻去纤维全株 CP 有效降解率以苎麻全株最高

（48.30%）、苎麻去纤维全株次之（38.50%）、苎麻叶片最低（35.97%），苎麻叶片、苎麻全株、苎麻去纤维全株 CP 有效降解率都低于苜蓿，与多数多年生黑麦草、燕麦草、玉米青贮、羊草等相近[17-24]。但是，苎麻叶片、苎麻全株、苎麻去纤维全株的 DM、CP 的快速降解部分含量却远远低于其他牧草。

瘤胃 NDF 和 ADF 降解率是表示粗饲料营养价值的一个重要指标，其大小反映了饲料消化的难易程度，提高其瘤胃降解率可增加反刍动物的 DMI 和生产性能。苎麻叶片的 72 h NDF 降解率、NDF 有效降解率分别为 77.63%、35.72%；苎麻全株的分别为 66.01%、35.24%；苎麻去纤维全株的分别 51.31%、17.66%。苎麻叶片 72 h ADF 降解率及 ADF 有效降解率分别为 79.16%、41.97%；苎麻全株的分别为 69.14%、40.25%；苎麻去纤维全株的分别为 53.24%、28.75%。苎麻叶片及苎麻全株的 72 h ADF、NDF 降解率和 ADF、NDF 有效降解率都高于苜蓿、燕麦草、羊草、玉米青贮等牧草，苎麻去纤维全株的 72 h ADF、NDF 降解率和 ADF、NDF 有效降解率与苜蓿、羊草等牧草相近[18-25]。

综合来看，除了 DM、CP 的快速降解部分含量外，苎麻叶片与苎麻全株的尼龙袋各指标都高于多数牧草，如羊草、多年生黑麦草，与苜蓿相近；而苎麻去纤维全株的各尼龙袋指标却低于苎麻叶片和苎麻全株，与羊草相近。

4 结　论

从体外产气量和有效降解率来看，苎麻叶片和苎麻全株的饲用价值要优于苎麻去纤维全株。总体来说，苎麻在反刍动物瘤胃中有较好的消化利用率，可作为反刍动物饲草资源开发利用。

参考文献:

[1] 中国农业科学院麻类研究所.中国苎麻品种志[M].北京:农业出版社,1992:3.

[2] 白玉超,李雪玲,黄敏升,等.50 年来中国苎麻种植情况与前景展望[J].作物研究,2014,28(5):547–550.

[3] 魏金涛,严念东,杨雪海,等.苎麻及副产物作为饲料原料的应用研究进展[J].饲料工业,2015,36(增刊 1):17–20.

[4] 朱涛涛,朱爱国,余永廷,等.苎麻饲料化的研究[J].草业科学,2016,33(2):338–347.

[5] 姜涛,熊和平,喻春明,等.苎麻在饲料中的研究及开发应用[J].饲料工业,2008,29(3):53–55.

[6] KIPRIOTIS E,HEPING X,VAFEIADAKIS T,et al.Ramie and kenaf as feed crops[J].Industrial Crops and Products,2015,68:126–130.

[7]CONTÒG,CARFI F,PACE V.Chemical composition and nutritive value of ramie plant [*Boehmeria nivea* (L.) Gaud] and its by-products from the textile industry as feed for ruminants[J].Journal of Agricultural Science and Technology A,2011,1(5):641–646.

[8] 蔡敏,李雅玲,吕发生,等.饲料用苎麻品种在重庆三峡库区的比较研究[J].饲料研究,2015(23):6–9,13.

[9] 吴仙.不同饲料山羊瘤胃降解率及其对瘤胃内环境影响研究[D].硕士学位论文.贵州:贵州大学,2009.

[10] 张颖,毛华明.不同种类牧草营养物质瘤胃降解率研究[J].饲料工业,2014,35(21):54–57.

[11] 张丽英.饲料分析及饲料质量检测技术[M].北京:中国农业大学出版社,2003.

[12] VAN SOEST P J.Development of a comprehensive system of feed analyses and its application to forages[J].Journal of Animal Science,1967,26(1):119–128.

[13] MENKE K H,STEINGASS H.Estimation of the energetic feed value obtained from chemical analysis and *in vitro* gas production using rumen fluid[J].Animal Rsearch and Development,1988,28:7–55.

[14] 王加启.反刍动物营养学研究方法[M].北京:现代教育出版社,2011.

[15] ØRSKOV E R,MCDONALD I.The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage[J].The Journal of Agricultural Science,1979,92(2):499–503.

[16] 隋美霞.产气法和 CNCPS 法对粗饲料营养评价的比较研究[D].硕士学位论文.哈尔滨:东北农业大学,2009.

[17] 张晓佩,刘远,高承芳,等.3 个多花黑麦草品种的瘤胃降解特性比较研究[J].家畜生态学报,2016,37(1):53–57.

[18] 马健,刘艳芳,杜云,等.禾王草与奶牛常用粗饲料瘤胃降解特性的对比研究[J].动物营养学报,2016,28(3):816–825.

[19] 林淼,张建刚,黄正旺,等.4 种常用饲草在湖羊瘤胃中的降解特性[J].饲料研

究,2015(1):35–39.

[20] 侯玉洁,徐俊,吴春华,等.5 种不同牧草在奶牛瘤胃中降解特性的研究[J].中国奶牛,2013(16):4–8.

[21] 陈艳,张晓明,王之盛,等.6 种肉牛常用粗饲料瘤胃降解特性和瘤胃非降解蛋白质的小肠消化率[J].动物营养学报,2014,26(8):2145–2154.

[22] 冷静,张颖,朱仁俊,等.6 种牧草在云南黄牛瘤胃中的降解特性[J].动物营养学报,2011,23(1):53–60.

[23] 王丽娟,刘建明,辛杭书,等.不同产地对羊草营养价值及其瘤胃降解特性的影响[J].中国畜牧杂志,2012,48(21):47–51.

[24] 陈晓琳,刘志科,孙娟,等.不同牧草在肉羊瘤胃中的降解特性研究[J].草业学报,2014,23(2):268–276.

[25] 高巍,何佳文,刘晨黎,等.苜蓿草粉干物质、有机物及粗蛋白质在农户育肥模式下哈萨克羊瘤胃有效降解率评定[J].黑龙江畜牧兽医,2014(5):93–95.

Evaluation on Feeding Value of Ramie Using *in Vitro* Gas Production and Nylon Bag Methods

HE Yao WANG Hongrong* XU Jinhao ZHAO Rui

(*College of Animal Science and Technology*, *Yangzhou University*, *Yangzhou* 225009, *China*)

Abstract: In this experiment, the feeding value of ramie leaf, ramie whole plant and ramie whole plant without fiber were evaluated by *in vitro* gas production and nylon bag methods. The ramie leaf, ramie whole plant and ramie whole plant without fiber were used to determine 72 h dynamic gas production by *in vitro* gas production method, and then gas production parameters were calculated; the above three materials were applied to measure degradation rates of dry matter (DM), crude protein (CP), neutral detergent fiber (NDF) and acid detergent fiber (ADF) using nylon bag method, and then degradation parameters were determined. The results showed as follows: 1) in the experiment of *in vitro* gas production, 72 h gas production and theological maximum gas production of ramie whole plant were the highest, and were significantly higher than those of ramie whole plant without fiber (P<0.05); the values of ramie leaf were in the middle,

*Corresponding author, professor, E-mail: hrwang@yzu.edu.cn (责任编辑　王智航)

and had no significant difference with those of the other two materials ($P>0.05$). 2) In the experiment of nylon bag, 72 h degradation rates of DM, CP, NDF and ADF showed ramie leaf＞ramie whole plant＞ramie whole plant without fiber; and the effectively degradation rates of DM, NDF and ADF showed the same tendency; however, when it came to effectively degradation rate of CP, ramie whole plant＞ramie leaf＞ramie whole plant without fiber. Considered from *in vitro* gas production and effectively degradation rate, feeding values of ramie leaf and ramie whole plant are superior to that of ramie whole plant without fiber.

Key words: ramie; feeding value; *in vitro* gas production method; nylon bag method